

*Выводы*

1. Теоретические расчеты модели взаимодействия плоского ножа с обрабатываемым материалом показали работоспособность фрезы с рефлексными свойствами.
2. Сравнивая моменты во время разгона (торможения) инструмента ( $580 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ) и во время обработки материала ( $6 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ) можно говорить о том, что оценку требуемых условий фиксации подвижных элементов с корпусом инструмента необходимо вести исходя из условия разгона (торможения), так как при этом режиме работы момент сил достигает наибольшего значения.
3. Предлагаемые 3D-модели фрезерования древесных материалов инструментом с прямыми ножами возможно применять в расчётах при конструировании и эксплуатации инструментов.

УДК 539.422.5

**А.А. Гришкевич, В.Н. Гаранин, Д.Л. Болочко**  
(A.A. Grishkevich, V.N. Garanin, D.L. Bolochko)  
(БГТУ, г. Минск, РБ)  
E-mail для связи с авторами: dosy@mail.ru

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА  
С ПРЯМЫМИ НОЖАМИ  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

**THE APPLICATION TECHNOLOGY OF THE MILLING TOOL  
WITH STRAIGHT KNIVES FOR  
THE MANUFACTURE OF CURVED SURFACES**

*В настоящей работе представлена новая технология изготовления профильных поверхностей прямыми ножами на примере фрезерования древесины сосны. Цель представленной работы заключается в изучении возможностей использования предложенной технологии с выявлением различных ограничений создания и эксплуатации на примере рассматриваемого типа фрезерного инструмента. Приведены данные по исследованию износостойкости инструмента, где реализована данная технология. Положительные результаты показывают на эффективность использования предлагаемой технологии, позволяющей значительно снизить издержки при формировании профильных поверхностей из древесины.*

*In this paper, a new technology for manufacturing profile surfaces with straight knives is presented, for example, in milling pine wood. The purpose of the presented work is to study the possibilities of using the proposed technology with the identification of various limitations of creation and operation on the example of the type of milling tool being considered. Data on the study of the wear resistance of the tool are presented, where this technology is implemented. Positive results show the effectiveness of using the proposed technology, which allows to significantly reduce costs when forming the profile surfaces of wood.*

Производство изделий с криволинейными поверхностями из древесины и древесных материалов (столярных изделий, корпусной и каркасной мебели и др.) является широко используемой технологией. Изготовление указанных изделий осуществляется с помощью фрезерования. В данной работе рассмотрим получение радиусных профильных поверхностей.

Для получения криволинейных поверхностей в деревообработке используются различные конструкции цилиндрических фрез с рабочей частью, выполненной по криволинейной поверхности. Преимуществом фрезы *а* (рис. 1) является низкая стоимость, простота конструкции, но основным недостатком является фасонные сменные ножи, которые сложно переточить.

На данной фрезе можно получить только один профиль. Профильная фреза для формирования лицевой стороны с механическим креплением режущих пластин из стали Х6ВГ (Х12, ХВГ).



Рис. 1. Фрезы для получения радиусных поверхностей:  
*а* – фреза фирмы «Самсон»; *б* – фреза фирмы «Иберус-Киев»

Фреза сборная *б* (рис. 1) состоит из 5 корпусов отдельных фрез. Корпус выполнен для снижения массы из сплава на основе алюминия. Фреза оснащена износостойкими ножами из твердого сплава. Преимуществом данной фрезы является наличие сменных прямых ножей, которые относительно легко переточить. Недостатком данной фрезы является большая стоимость, большое количество ножей, сложная конструкция.

Существуют и другие конструкции фрез для получения радиусных поверхностей [1]. При данном способе цилиндрического фрезерования, обрабатываемый материал для удаления припуска подают с постоянной скоростью  $V_s$  (м/мин) на вращающийся с окружной скоростью  $V$  (м/с) инструмент так, что численное отношение  $V_s/V$  составляет от 30 до 100, режущая кромка, формирующая поверхность обработки, расположена параллельно оси вращения инструмента, а направление подачи перпендикулярно оси вращения. При этом передний угол  $\gamma \geq 5$  град, задний угол  $\alpha \geq 15$  град и угол заострения  $\beta$  выбираются в зависимости от вида обрабатываемого материала (березы, сосны, дуба, древесно-стружечной плиты и т. д.) и расположения его волокон [2].

Сущность предлагаемого технического решения заключается в формировании требуемой фигуры вращения в виде вогнутой поверхности за счет скрещивающихся прямых линий – оси вращения и режущей кромки. Это позволяет существенно упростить заточку ножей и повысить качество обрабатываемой поверхности за счет уменьшения размера неровностей поверхности, формируемых воздействием различных ножей в составе одного и того же инструмента.

Установка прямой режущей кромки под углом  $\theta$  к направлению подачи приводит к тому, что радиус фигуры вращения, образованной этой кромкой, плавно меняется по ширине обрабатываемого материала на некоторую величину  $\Delta$ , зависящую от  $\theta$  (рис. 2). Чем больше  $\theta$ , тем больше кривизна образующей формируемой фигуры вращения, и тем больше кривизна сопряженной с ней обрабатываемой поверхности.  $\Delta$  и  $\theta$  связаны

строгим математическим выражением, поэтому  $\theta$  легко определить, если задана величина изменения высоты профиля обрабатываемого материала на ширине  $B$ .

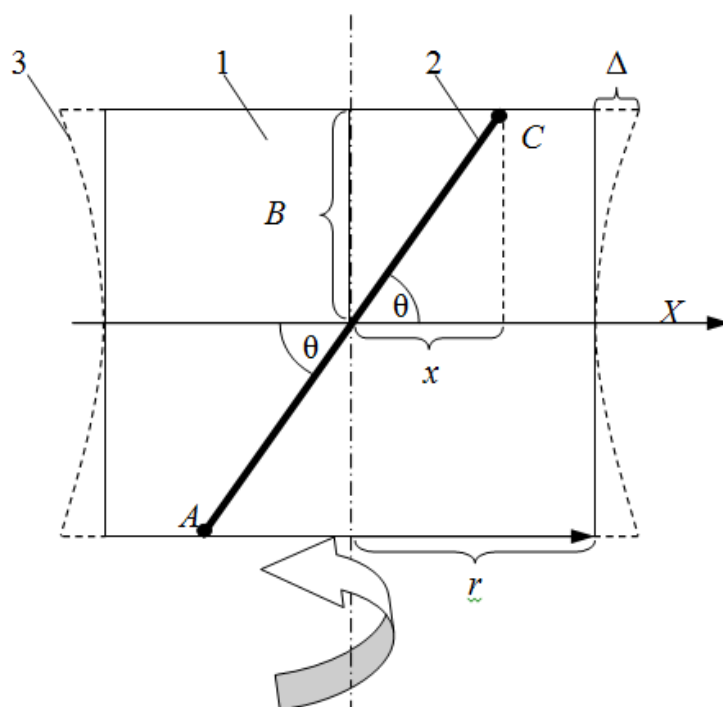


Рис. 2. Вид фрезы сверху:

$x$  – смещение;  $\theta$  – угол подачи;  $\Delta$  – изменение радиуса;  
 $A$  – точка врезания;  $B$  – ширина;  $C$  – точка выхода;  $X$  – направление подачи;  
 $1$  – корпус фрезы;  $2$  – режущая кромка;  $3$  – фигура вращения

В большинстве случаев не требуется строгого соответствия формы профиля обрабатываемой поверхности дуге окружности определенного радиуса. Заявляемый способ обеспечивает формирование профиля, близкого к параболе. Дуга этой параболы в данном случае очень близка по форме к дуге окружности.

Однако управлять кривизной дуги при реализации заявляемого способа очень легко путем изменения  $\theta$  без замены комплекта ножей. В случае же использования обычного инструмента изменение кривизны формируемой поверхности достигается только заменой комплекта ножей и, как правило, фрезы в целом.

Заточка ножей с прямолинейной кромкой максимально проста и не требует сложного технологического оборудования, как в случае прототипа. Количество удаляемого материала при заточке прямой кромки меньше чем при заточке криволинейной. Это связано с тем, что для точного воспроизведения исходного профиля криволинейной режущей кромки количество удаляемого материала обратно пропорционально косинусу угла, формируемого дугой криволинейной кромки – с увеличением длины дуги и уменьшением радиуса ее кривизны количество материала, удаляемого при заточке, увеличивается. И если дуга опирается на угол, равный  $\pi$ , переточка с точным сохранением исходного профиля становится невозможной – по краям дуги удаление материала возможно только с увеличением радиуса кривизны.

Таким образом, допустимое количество переточек ножей фрезы при использовании заявляемого способа фрезерования фасонных поверхностей возрастает за счет уменьшения количества удаляемого материала в процессе одного цикла заточки. В результате общий срок службы ножей возрастает.

Кроме того, установка режущей кромки под углом к направлению подачи облегчает процесс фрезерования за счет того, что он протекает в меньших ударных нагрузках. Воздействие режущей кромки с обрабатываемым материалом происходит при перемещении области их взаимодействия от точки врезания на одном краю материала до точки выхода на другом.

Это уже не единовременное взаимодействие по всей ширине, как в случае прототипа. Это уменьшает ударные нагрузки на режущую кромку и, соответственно, скорость ее износа, что позволяет дополнительно повысить срок службы инструмента. Установка ножей с прямой кромкой в корпус фрезы проще установки ножей с фасонной кромкой, так как не требует сложного процесса выравнивания профиля в составе одного комплекта.

Следует отметить, что согласно ГОСТу 25762-83 [3] необходимо различать статические и кинематические передние и задние углы резания ( $\gamma_c$ ,  $\alpha_c$ ,  $\gamma_k$ ,  $\alpha_k$  соответственно), которые измеряются соответственно в статической и кинематической основных плоскостях.

Установка ножей под углом к направлению подачи материала дополнительно связана и с уменьшением силы при образовании стружки. В то же время передний и задний углы в кинематической плоскости становятся переменными величинами в течение взаимодействия режущей кромки с материалом. В начальный момент времени в точке врезания  $\gamma_k$  минимален, по мере формирования стружки он возрастает и достигает максимума на выходе режущей кромки из материала.

Задний угол  $\alpha_k$  в точке врезания максимален, по мере формирования стружки он уменьшается и достигает минимума на выходе режущей кромки из материала. Поскольку оптимальный режим резания обеспечивается при кинематических углах  $\alpha_k \geq 15$  град,  $\gamma_k \geq 5$  град, то для обеспечения требуемой величины этих параметров  $\gamma_k \geq 5$  град задается в точке врезания, а  $\alpha_k \geq 15$  град задается в точке выхода режущей кромки из обрабатываемого материала. Это позволяет осуществлять процесс фрезерования в оптимальных режимах по всей обрабатываемой поверхности.

Таким образом, предлагаемый способ существенно упрощает технологический процесс изготовления фасонного профиля и позволяет повысить качество обрабатываемой поверхности.

На рисунке 3 приведено схематическое изображение поперечного сечения фрезы с ножом, установленным под углом к направлению подачи материала. На корпус фрезы 1 установлен нож с режущей кромкой 2 под углом подачи  $\theta$  к направлению подачи  $X$  обрабатываемого материала. Вращение режущей кромки 2 вокруг оси вращения  $O$  формирует фигуру вращения 3 в виде криволинейной поверхности.

На вогнутом участке радиус  $r$  фигуры вращения 3 минимален, изменение радиуса  $\Delta$  фигуры вращения 3 на ширине  $B$  обрабатываемого материала при приближении к основанию поверхности вращения обусловлено смещением  $x$  края режущей кромки в направлении подачи  $X$ . Направление вращения фрезы показано фигурной стрелкой. При подаче обрабатываемого материала в направлении  $X$  режущая кромка врезается в материал в точке  $A$ . По мере вращения фрезы и подачи материала область взаимодействия режущей кромки с обрабатываемым материалом перемещается по длине фрезы в точку выхода  $C$  с образованием фасонного профиля материала, сопряженного с фигурой вращения 3.

Таким образом, при реализации заявляемого способа задаются требуемые параметры профиля: ширина  $B$  и изменение радиуса  $\Delta$  фигуры вращения. Затем с учетом радиуса  $r$  фигуры вращения рассчитывается требуемое значение угла подачи  $\theta$ . Ножи устанавливаются в корпус фрезы с соблюдением заявляемых значений установочных углов  $\gamma$  и  $\alpha$ , после чего проводится обработка материала.

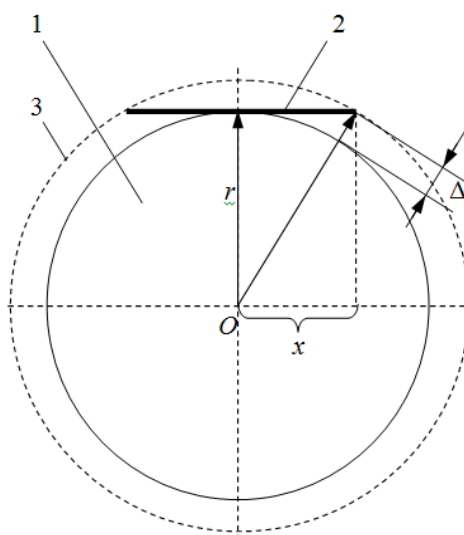


Рис. 3. Поперечное сечение фрезы:

1 – корпус фрезы; 2 – режущая кромка; 3 – окружность резания (фигура вращения);  
O – ось вращения;  $r$  – радиус;  $\Delta$  – изменение радиуса;  $x$  – смещение

При проектировании инструмента предлагаемого решения угол наклона кромки  $\lambda$  к направлению подачи необходимо определять из выражения:

$$\theta = \arctg \frac{B}{\sqrt{2r\Delta + \Delta^2}} \quad (1)$$

При этом минимальный радиус резания  $r$  определяется исходя из неравенства:

$$r \geq \frac{V}{\omega}, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость резания материала, м/с;  
 $\omega$  – частота вращения шпинделя,  $\text{с}^{-1}$ .

При проектировании инструмента статический главный задний угол  $\alpha_c$  и статический главный передний угол  $\gamma_c$  на радиусе резания  $r$  (с целью соблюдения на всей длине обработки профиля статических главных заднего и переднего углов  $\alpha_c > 10$  град и  $\gamma_c > 5$  град) необходимо выбрать исходя из следующих неравенств:

$$\gamma_k(0) \geq \arctg \left[ \tg \left( 5 \frac{\pi}{180} - \chi \right) \sin \theta \right], \quad (3)$$

$$\alpha_k(0) \geq \arctg \left[ \frac{\tg \left( 10 \frac{\pi}{180} + \chi \right)}{\sin \theta} \right], \quad (4)$$

где  $\chi = \arctg \frac{x \operatorname{ctg}(\theta)}{r}$ ;

$x$  – удаление осевой координаты режущей кромки  $x = [B/2; -B/2]$  (рис. 4).

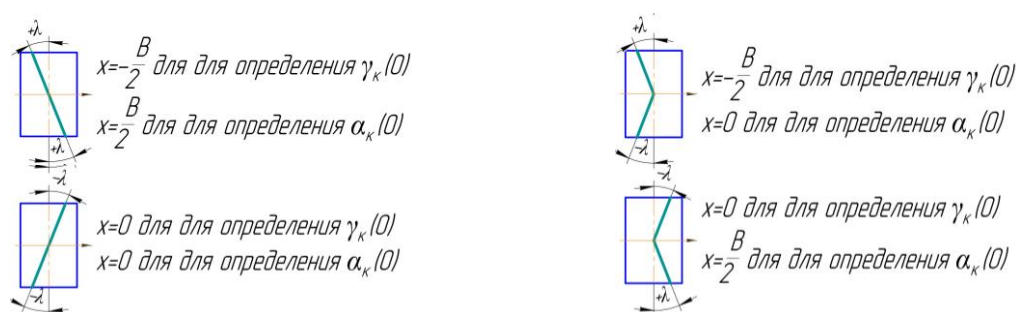


Рис. 4. Способ выбора  $x$  при определении углов по формулам (3) и (4)

### Постановка эксперимента

Для выполнения испытаний инструмента с предлагаемым способом обработки изделий из древесины была использована экспериментальная установка на базе машины Unimat 23EL, а также инструмент, который описан в работе [4].

Были определены два профиля деталей с симметричной шириной ( $2B$ ) 20 см (изделия типа 1 и типа 2) при изменении высоты профиля ( $\Delta$ ) 5 мм (изделие типа 1) и 8 мм (изделие типа 2). Расчетные значения  $\theta$  при этом составили 69 и 63,5 град соответственно. Обработку проводили при скорости подачи 20 м/мин и скорости вращения инструмента 8 000 мин<sup>-1</sup>. Угол заострения ножа  $\beta = 38$  град. В точке врезания задавали передний угол  $\gamma_k = 10$  град для изделий обоих типов. Задний угол  $\alpha_k = 15$  град задавали в точке выхода ножа из обрабатываемого материала, когда он минимален, что обеспечивало выполнение неравенства  $\alpha_k \geq 15$  град. Минимальный радиус ( $r$ ) фигуры вращения режущей кромки составил 150 мм, а минимальный припуск на обработку – 2 мм.

В процессе подготовки необходимо было обеспечить радиус округления режущих кромок 6–8 мкм (согласно работе [5]), постоянство угла заострения  $\beta (\pm 1^\circ)$ , прямолинейность кромок (0,05 мм на длине 1 000 мм) и шероховатость заточенных поверхностей (параметр  $Ra$  не должен превышать 32–63 мкм). Ножи восстанавливались путем снятия слоя материала с передней поверхности. Заточка проводилась периферией шлифовального круга чашечной формы (марка АС 100СМ1К8 ПП 140 × 20 × 32). В этом случае площадь контакта круга с ножом минимальна, и опасность перегрева уменьшается. Контроль качества подготовки инструмента заключался в измерении угла заострения, равномерности ширины ножа и остроты режущей кромки. Угол заострения измеряли угломером с точностью до 0,1. Ширину ножа (мм) измеряли штангенциркулем у краев ножа. Разность результатов измерения делили на длину ножа (мм) и умножали на 1 000. Относительная погрешность ширины не превышала 0,1 мм на длине 1 000 мм.

При проведении эксперимента стойкость инструмента во время обработки древесины сосны влажностью  $12 \pm 1$  % определялась количеством обработанного материала после восстановления ножей до роста мощности на обработку на 50 %. При этом визуально контролировалось качество обработанных поверхностей. Результаты испытаний представим в таблице.

### Сравнительные характеристики качества продукции

Тип ножей	Тип изделий	Кол-во продукции высшего сорта, %	Средняя стойкость ножей до восстановления, м. пог.	Срок службы ножей, м. пог.	Кол-во переточек
Плоские	1	95	6 549	124 431	19
	2	91	7 347	146 940	20
	1	73	5 352	80 280	15

Окончание табл.

Тип ножей	Тип изделий	Кол-во продукции высшего сорта, %	Средняя стойкость ножей до восстановления, м. пог.	Срок службы ножей, м. пог.	Кол-во переточек
	2	69	4 837	72 555	15

#### *Выводы*

Из приведенных данных видно, что предлагаемый способ обеспечивает более высокое качество обработки поверхности при одновременном увеличении периода стойкости ножей. Кроме того, поскольку трудоемкость переточки фасонных ножей выше чем прямых, общие трудозатраты на восстановление инструмента при использовании заявляемого способа существенно ниже.

Таким образом, получение радиусных поверхностей прямыми ножами позволяет не только снизить трудозатраты на фрезерование, но, как и при использовании упрочняющих технологий, повысить период стойкости дереворежущего инструмента. Данный факт был отражен в заявке на патент [6].

#### **Библиографический список**

1. Кузнецов И.И. Способ обработки детали: пат. 2351441 Рос. Федерация; Оpubл. 10.04.2009. Бюлл. 10.
2. Кряжев Н.А. Фрезерование древесины. М.: Лесная промышленность. 1979. 200 с.
3. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий: ГОСТ 25762-83. Введ. 01.07.84. М.: Госстандарт, 1983. 45 с.
4. Новая конструкция энергоэффективного фрезерного инструмента с изменяемыми углами передним и наклона кромки для обработки древесных материалов / А.А. Гришкевич, В.В. Раповец, В.Н. Гаранин, А.Ф. Аникеев // Вестник БарГУ. Барановичи. 2015. Вып. 3.
5. Исследование затупления двухлезвийного режущего инструмента фрезерно-брусующих станков и его влияние на касательную силу резания / С.А. Гриневич, В.В. Раповец, Г.В. Алифировец // Труды БГТУ. 2015. Сер II (175): Лесная и деревооб- раб. пром-сть. С. 258–262.
6. Способ изготовления профильных деталей из древесины и древесных материа- лов с использованием плоских ножей: заявка № а20170511 от 28.12.2017г. / А.В. Белый, А.А. Гришкевич, В.Н. Гаранин, С.Ф. Сенько.

**УДК 674.05:631.06**

**А.А. Гришкевич, В.Т. Швед, А.Ю. Юдицкий**  
(А.А. Grishkevich, V.T. SHved, A.YU. YUdickij)  
(БГТУ, г. Минск, РБ)

E-mail для связи с авторами: dosy@mail.ru

#### **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ**

#### **THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL REGIMES ON THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF GRINDING WOOD**

*В настоящей работе представлены результаты исследований влияния режимов резания (скоростей резания и подачи, припуска на обработку) на полную и полезную*